大規模三次元動的 FEM による発破振動の伝播解析

鹿島建設株式会社 正会員 〇小泉 悠 山本 拓治 中嶌 誠門 小原 隆志 東京大学地震研究所 正会員 堀 宗朗 市村 強

1. はじめに

建設工事が周辺環境に及ぼす影響について、近年、その関心の高まりとともに、トンネルの発破振動も事前 の影響評価と対策が重要な課題として注目されるようになってきた.従来,発破振動は,その最大振動速度が 装薬量に比例し,距離に反比例するという経験式により予測評価されてきた¹⁾.この予測法は簡易ではあるが, 均質一様な地盤を仮定するものであり、岩盤および土質地盤からなる複雑な地盤条件に対し、精度良い予測を 行うことは難しい、そこで、そのような地盤条件に対しても、より高精度な振動の予測評価を行うことを目的 に、これまで開発を進めてきた大規模三次元動的 FEM²⁾を発破振動の伝播解析に適用した.

2. 対象地盤および発破振動のモデル化

本検討では,最大土被り150mの泥岩地山トンネルの発破振動を検討対象とすることとした.坑口周辺には, 軟弱な土質地盤からなる平野が広がり、人家が点在している. 作成した地盤モデルを図-1に示す. 解析領域 は、平面 600m×600m, 深さ方向 120m とした.地山部を 5 層、平野部を 5 層に区分し、各層の入力物性値を 表-1に示すように設定した.

本解析では、モデルのメッシュサイズを精度保証し たい振動の波長の1/10以下とする必要がある。今回, 計算時間を実用上問題ない範囲に抑えるため、最小メ ッシュサイズを 3m に設定した. このとき, 表-1 にお いて S 波速度が 150m/s の平野部第2層で、最も細かな メッシングが求められる.次式に最小メッシュサイズ d =3m, 弾性波速度 V=150m/s を代入することで, 解析 で精度保証できる周波数は 5Hz 以下であることが分か った. なお, *l*は波長 (m), *f*は周波数 (Hz) である.

$$\lambda = 10d = \frac{V}{f}$$



表-1 各層の入力物性値

層番号		地盤種別	P波速度	S波速度	密度	減衰定数
			$V_{\rm p}$ (m/s)	$V_{\rm s}({\rm m/s})$	$\rho \text{ (kg/m}^3)$	h (%)
平野部	1	沖積礫層	450	180	1750	2.50
	2	沖積粘土層	355	150	1655	2.50
	3	火山灰質粘性土	550	225	1800	2.50
	4	沖積粘土層	380	155	1775	2.50
	5	洪積礫層	845	345	2000	1.67
地山部	1	表土	500	200	1750	2.50
	2	泥岩	1300	550	2100	1.67
	3		2250	1200	2300	1.25
	4		3000	1600	2400	1.00
	5		3500	1850	2500	0.83

キーワード トンネル 発破振動 FEM

連絡先

〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設株式会社 技術研究所 TEL042-489-6596

-076

発破振動では、100Hz 程度の高周波数成分が卓越すること が知られている¹⁾. 一方、振動の受け手となる人や木造家屋 の固有振動数は小さく、人は 4~8Hz、木造家屋は 3Hz 程度 の振動に共振し、その影響を受け易いとされている³⁾. 以上 のことから、今回の解析で最大振動速度の分布を求めること は困難であるが、人や木造家屋が影響を受け易い箇所を特定 できるものと考えた. なお、最小メッシュサイズを 3m とし たとき、解析の自由度は 2,184,447 で、筆者らの計算機環境

(CPU: AMD QuadCore Opteron2360 2.5GHz, メモリ: 32GB) で共有メモリ型並列計算(OpenMP)を8スレッドで実行し た結果,要した計算時間は約10時間であった.

切羽が坑口から 100m の位置にあるものと想定し, 図−1 における(X, Y, Z)=(0, 0, 12)を振動源とした. 球面状に振動が 伝播するよう, 図−2 に示すように加振力を全 54 ベクトル でモデル化し, 図−3 に示す中心周波数 2.5Hz のリッカー波 を振動源座標に入力した.

3. 解析結果および考察

解析により得られた地表面の最大変位率(鉛直Z方向)の 分布を図-4に示す.同図より,振動源の直上で最大変位が 生じ,さらに山の尾根沿いに地表面変位の卓越箇所が分布す ることが分かった.振動が上方に伝播するに際し,地山の鋭 角部である尾根に振動が集中していくものと考えられた.当 初,剛性の低い平野部での振動の卓越が予想されたが,これ は比較的小さく,振動源から平野部まで距離があり,また平 野部の土質地盤の減衰定数が大きいため伝播しにくかった ものと考えられる.ただし,平野部でも,人や木造家屋に影 響を及ぼす振動が,南東部に比較して南西部によく伝播する ことが分かった.従来の経験式に基づく最大振動速度は,同 心円状の分布でしか得られない.5Hz以下の振動のみを対象 とした結果とは言え,このような地形と地質を考慮した振動 の伝播特性を把握できたことは大きな進展と言える.



図-2 入力ベクトルの模式図



図-3 入力波のフーリエスペクトル



4. まとめ

発破振動の伝播をより高精度に予測するため,三次元動的

FEM による振動解析のケーススタディを行った.実用上問題無い時間内で解析結果を得るために,解析対象 周波数を 5Hz 以下に限定せざるを得なかった点については,本手法の今後の課題と言える.しかし,振動の 卓越箇所を,従来の手法に比較してより詳細に把握することができた.今後,実現場への適用に向け,実測デ ータを得て解析結果と比較検証するなど,更なる検討を進めていく所存である.

参考文献

1) ジェオフロンテ研究会:現場技術者のための制御発破工法の実際, p.165, 1996.

- 小原 隆志, 堀 宗朗, 市村 強, 大保 直人, 山田 岳峰, 伊丹 洋人, 遠藤 剛: 大規模三次元 FEM を用い た建設振動予測システム, 第45 回地盤工学研究発表会予稿集, pp.1975~1976, 2010.
- 3) 櫛田 裕:環境振動工学入門,理工図書, pp.175~196, 1997.

-076